

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-251250

(43)Date of publication of application : 14.09.2001

(51)Int.CI.

H04B 10/152
H04B 10/142
H04B 10/04
H04B 10/06
H04J 14/00
H04J 14/02
H04B 10/02
H04B 10/18

(21)Application number : 2000-061068

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 06.03.2000

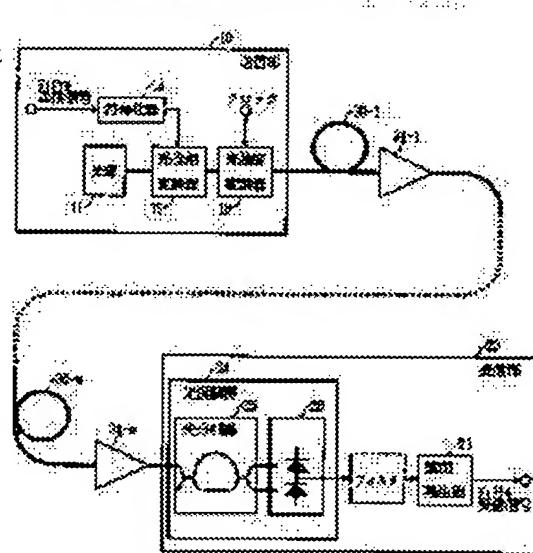
(72)Inventor : FUKUTOKU KOUSHI
MIYANO TOMOKO

(54) OPTICAL TRANSMITTER AND OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To configure an economical network by relaxing the limit of the number of optical amplifiers and repeaters due to a nonlinear optical effect and deterioration in optical SNR.

SOLUTION: The optical transmitter for configuring a transmission section is provided with a light source, that generates a light with a single wavelength, a phase modulation means that applies phase modulation to a light with a single wavelength by a digital signal, and a intensity modulation means that applies intensity modulation, so that the optical intensity is small at borders of bits of the optical signal that is phase-modulated, and transmits an optical signal, that is phase-modulated and intensity-modulated.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 27.11.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3625726

[Date of registration] 10.12.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

100071 図9のように、光増幅器31のみにより多段段階的に光信号の増幅中継を行なう構成では、ASE光が光増幅器31を通過することに累積される。このため、光信号とASE光との比である光SNRは、送信端に対して受信端で大きくなり比する。また、光SNRが小さくなると、受信端で符号誤り率が増加する。この符号誤り率を一定の誤り率以下に保つには、光ファイバの増幅段階で信号増幅器を上昇させ、送信端での光SNRを大きくする必要がある。

100081 しかし、光ファイバ伝送路への光力光パワーを上昇させると、光ファイバ伝送路の非線形光学効果による相手劣化が大きくなる。非線形光学効果は、光ファイバ中を高パワーの光が伝搬するとき、光と光ファイバの相互作用を起こし、光ファイバの屈折率が非線形的に変化する現象である。光伝送システムで問題となる現象として、自己位相調和と群速度分散の相互作用 (S P M+GVD)、相互位相調和と群速度分散の相互作用 (XPM+GVD)、四波混合、誘導アマン散乱等がある。

100091 IM-DD方式を用いた光伝送システムにおいて、1波長のみを伝送させた場合には、S PM+G VD効果が顕著になることが報告されている (参考文献: A. Nakai et al., "Fiber transmission distance determined by eye opening degradation due to self-phase

“*Phase modulation and group-velocity dispersion*”, IEEE Transactions Letters, vol. 28, pp. 2221-2222, 1992. 2). また、図 9 のような複数多光路伝送システムにおいて、伝送路の等分散度近傍以外の波長を用いた場合に、XPM+GVDD効果が顕著になることが報告されている (参考文献: R. Kuri et al., *Cross-phase modulation in multispacer WDM optical fiber systems*”, IEICE Transactions, Vol. J77-B, No. 1, pp. 17-22, 1994).

において問題となる非線形光学効果のうち、1 波長伝送問題となる SPM+GVD 効果、适量重伝送で問題となる SPM+GVDF 効果および UX PM+GVDF 効果について、詳細に説明する。

1.001.7 (SPM+GVDF 効果) まず、従来の光伝送システムにおいて、IM-DD 方式における SPM+GVDF 効果の影響について説明する。

1.001.8 1 は、IM-DD 方式で生じる自己位相変調による光周波数変化を示す。(a) は NRZ (Non-Return to Zero) 符号を用いた強度変調信号の波形、(b) は路経される自己位相変調によって生じる光周波数変化を示す。図 1.1 (a) に示すような強度変調信号が光ファイバ伝送路を伝送すると、光ファイバの非線形屈折率を介して自光信号に光強度に比例した光位相変化が生じる。この光位相変化を自己位相変調 (SPM) といふ。光位相変化の時間的平均は光周波数変動に応じた

現の光信号は、光合波器 1.3 で波長多盤され、光ファイバ伝送路 3.0 ～ 3.0 ～ m およびその損失を補償する光増強器 3.1 ～ 3.1 ～ m を介して受信部 2.0 まで伝送される。

1.001.2 受信部 2.0 では、光分波器 2.1 で各波長の光信号に分波し、それぞれ対応する光復調器 2.4 ～ 2.4 ～ n に入力される。光復調器 2.4 は、光弁別器 2.5 とバランス型光受器 2.6 から構成される。光弁別器 2.5 は 2 方向の入力ポートから入力した光信号を 2 分岐し、その一方の出力ポートで 1 ビット時間選択させて 2 つの出力ポートに分岐する。一方の出力ポートには、光の位相を合わせて強度の大きい光信号を出力し、光の位相に変化があれば、干渉によって分岐された光信号が強いて強度の小さい光信号を出力する。

[0013] 送信部 1.0側では、子め送信信号が光信号の位相変化に対応付けられているので、送信信号とし
て、光強度信号が光共振器 2.5の一方の出力ポートから出
力される。光共振器 2.5の他の方の出力ポートには、倫
理反転した光信号が受けられる。各電気信号は、低周再生
器 2.6で受光することができる。各電気信号は、低周再生
器 2.3～2.3-nにより個別再生され、受信信号と
して出力される。

[0014] ここで、光共振器 2.5の2つの出力ポート
には、可干渉性のない光増幅器の A.S.E 成分が始めに
出力され、可干渉性のある光信号は相補的な光信号とし
て出力される。そのため、バランス型受光器 2.6の出力
には A.S.E 成分は相殺され、IM-DD 方式と光信号の半
分が取出される。したがって、IM-DD 方式と光信号の半
分が取出される。

[0015] 図 1 (b) に示すように光強度変化に応じて位相が
変化する際に光周波数変動が生じる。このように、NR
Z 符号を用いた IM-DD 方式では、符号が変化するビ
ートの境界での光周波数変動が生じる。この光周波数
変動が光伝送路中の群速度分散により、光強度変化に変
換される効果を GVD 效果といいう。

100119 図 12 は、NRZ 符号を用いた IM-DD 方
式の (a) 伝送伝送時の信号波形を示す。ここでは、波長
分散値 2.5ps/mm/m の光伝送路を 120km ごとに光端機
中継し、360km 伝送した場合の波形変化を示す。(a)
は伝送前、(b) は伝送後の波形を示す。なお、群速度分
散のみの影響を除くため、伝送後に分離補償フィルムに
より光伝送路の群速度分散を補償した。

100119 図 1 (b) 中の右の矢印は、とともにに活
用する “1” を挙しているが、前のビットの符号に依
存形が大きくなっていることがわかる。図 1
なし。

に示すように、自己位相変調の光周波数変動は、符号が量化するビットの境界のみで生じるが、この光周波数変動はその前のビットに対して影響を与える。符号間干渉はその前のビットにより、前後のビットの符号間干渉を生じさせる。この符号間干渉により、前後のビットの符号間に変化が生じることになる。

図 10.21 に、DPSK+DD方式における SPM と DUV 方式の影響について説明する。図 10.21 は、位相と位相符号の光強度とその光周波数変化の関係を示す。

図 10.21 (a) は位相変調符号の波形。(b) は構成される自己位相と周波数によって生じる光周波数変動を示す。図 10.21 (a) に示すように、位相変調符号は送信信号と光の相位位相に対応させたため、光強度を一定にできるが、光位相は常に変化する。特に、符号が変化し、光の相位位相が「0」から「π」へ変化する。一方で、符号が変化し、光の相位位相が「0」から「0」に変化するビットの境界で位相変化が生じる。

図 10.22 に示すように、光位相変化の時間微分が光周波数変動になるので、光位相が変化するときのビット

境界に図13(b)に示すような光周波変動が生じる。光周波変動は、輝度分がある光ファイバを伝送すると光強度変化に変換されるため、位相変調信号においても強度変調信号と同時に位相信号に保存した強度変化を生じることになる。この送信信号に保存した強度変化により、上述のIM-D-DD方式と同様に、位相変調信号を用いた場合でもS-PDM+GVD効果による符号間干渉が生じ、形成能化を保つ。

100231 図14は、DPSK-DD方式の1波長伝送時の信号波形を示す。ここでは、図12に示す信号波形と同一条件で位相駆動信号を伝送させた場合の波形変化を示す。(a)は伝送前、(b)は伝送後の光伝送機器の出力である。IM-DD方式の場合と同様に、図14 (b)中の2つの矢印は、ともに送信信号の“1”を表しているが、DPSK-DD方式においてはIM-DD方式と異なり、前回ビットによって波形が大きく異なり、符号間干渉による波形のばらつきが生じている。

100241 なお、SPM-GVD効果による符号干渉を低減させるために、IM-DD方式においてRZ (Return to Zero) 符号を用いることが検討されている。この場合には、SPM-GVD効果による劣化は低減されるが、ASE光による信号劣化は改善できない。

100251 (XPM+GVD効果) 次に、波長多波伝送で問題となるSPM+GVD効果およびXPM+GV DD効果のうち、XPM+GVD効果について詳細に説明する。

100261 光強度により送信信号を伝送するIM-DD方式では、送信信号に対応した光強度変化が光ファイバの非線形屈折率を介して隣接波長の位相を変化させる。この位相変化により生じる光周波数変化が、群速度分散により強度漏らぎとして現れる効果をXPM+GV DD効果という。

100271 図15は、NRZ符号を用いたIM-DD方式で波長多波伝送を行った場合の相互位相変調によって生じる光周波数変化を示す。図15(a), (b)は、波長λ1, λ2の光強度変動信号の波形を示す。図15(a), (b)間の矢印は、光強度の変化によって隣接長波間の相互位相漏出が生じる点を示す。例えれば下向きの矢印は波長λ1の光信号が波長λ2の光信号に光周波数変化を生じさせることを意味する。図15(c)は、波長λ1の光信号の強度変化によって波長λ2の光信号に生じる光周波数変化を示す。

100281 図15(a), (b)に示すように、隣接波長間には送信信号の相関はないので、隣接チャネル間の強度変化には相関はない。このため、図15(c)に示すようにならに、隣接チャネルの影響により光周波数変化は自らの光信号とは無関係なランダムな変化となる。このランダムな光周波数変化は、光ファイバ中の群速度分散により、上述したXPM+GVDD効果による。

100291 次に、上述したXPM+GVDD効果による

ランダムな波形劣化の受信側の周波数分布について説明する。図16は、NRZ符号を用いたIM-D-DD方式で生じるXPM+GVD効果の周波数分布を示す。ここで図は、中心波長を過橋光とし、それを10Gb/sのビットレートでNRZ2符号を用いて強度変調した3波長の波長多色光信号について、伝送側の光信号を直接接続した場合の電気ペクトルを示す。

図10-30) この電気ペクトルは過橋光を受光した際のものであるので、本来は周波数0Hz成分のみ存在し、他の周波数成分は存在しない。しかし、図16に示すように、本来ペクトルが存在しない領域にブロードなスベクトルが生じている。このスペクトルは、跨接波長によってランダムな強度変化によって生じたスベクトルである。XPM+GVD効果により生じたスベクトルは、図に示すように信号周波数帯域と重なっており、取り除くことは不可能である。そのため、受信部においてランダムな信号劣化が生じることになる。

図10-31) 以上、NRZ符号を用いたIM-D-DD方式におけるXPM+GVD効果について説明したが、DPSK-M-DD方式についてもXPM+GVD効果と同様に信号劣化を生じる。また、RF符号を用いたIM-D-DD方式についても、強度変化は信号符号に依存し、跨接波長にXPM+GVD効果によるランダムな信号劣化を与える。

100321 図17は、100 GHz周波数の3波長多重伝送実験により得られたアイバーターンを示す。信号のビットレートは10Gb/sとした。また、実験に用いた光伝送路は波長分離器2.5ps/nm/kmであり、120kmごとに光路を波長分離器し、360 km伝送した。なお、群速度分散のみの影響を除くため、伝送後に分散補償ファイバにより光伝送路の群速度分散を補償した。

100331 図17(a), (b), (c) は、それぞれNRZ符号を用いた1M-DD方式、RZ符号を用いた1M-DDD方式、DPSK-DD方式のアイバーターンを示す。なお、出力のために、伝送前のアイバーターンもそれぞれ同時に示す。図に示すように、3波長多重伝送後のアイバーターンは、伝送前と比較して波形がランダムに劣化し、“0”と“1”的レベル差が小さくなっているのが生じやすくなっていることがわかる。このように、波長多重伝送を行った場合は、SPM+GVD効果に加え、XPM+GVD効果によりランダムな波形劣化を受けて信号が劣化する。

100341 なお、ここでは波長多重伝送を行った場合の非規格光学効果の例として、XPM+GVD効果による劣化について説明した。光強度変化がなぜ光波による効率が他の波長に影響を与える現象については、上記のXPM+GVD効果と同様の効率を生じさせる。

100351 このように、光伝送システムでは、非規格光学効果と光SNR劣化の影響により信号が劣化する。特に、SPM+GVD効果およびXPM+GVD効果に

よる、S.P.M.+G.V.D.実験により生じる符号衝突を抑止でき、信号劣化を遮断することができる。

10.04.03 須求項4に記載の光伝送装置は、ディジタル信号により位相変調された光信号を低周波としてデータに記載するので、送信波形の強度変調はすべてのビットにおいて一様になり、ビットの境界で光強度が小さくなる。これにように信号のビットに同期したタイミングで強度変調を行うことで、送信波形の強度変調はすべてのビットにおいて一様になり、ビットの境界で光強度が小さくなる。これにように信号のビットに同期したタイミングで強度変調を行うことで、送信波形の強度変調はすべてのビットにおいて一様になり、ビットの境界で光強度が小さくなる。これに

10.04.01 須求項4により位相変調された光信号を低周波としてデータに記載する手段と、電気信号を低周波としてデータに記載する手段を組合せた複数手段とを備え、請求項1に記載の光伝送装置から送信された光信号を光伝送手段から受信する。

10.04.11 須求項4に記載の光伝送装置は、複数のデータに記載する手段と、信号劣化を遮断する手段とを組合せた複数手段を各波長の光信号がそれぞれ位相変調された波長多長光信号を各波長の光信号に分波して各波長の光信号を位相変調してそれを電気信号に変換する光分波器と、各波長の光信号を位相変調してそれを電気信号に変換する複数の光伝送手段と、各電気信号を位相変調してそれを位相変換するディジタル信号を出力する複数手段とを備え、請求項2に記載の光伝送装置から受信して分波する。

10.04.21 須求項4に記載の光伝送装置は、複数のデータに記載する手段と、信号劣化を遮断する手段とを組合せた複数手段を各波長の光信号がそれぞれ位相変調された波長多長光信号を各波長の光信号に分波して各波長の光信号を位相変調してそれを電気信号に変換する光分波器と、各波長の光信号を位相変調してそれを電気信号に変換する複数の光伝送手段と、各電気信号を位相変調してそれを位相変換するディジタル信号を出力する複数手段とを備え、請求項2に記載の光伝送装置から受信して分波する。

10.04.22 須求項4に記載の光伝送装置は、複数のデータに記載する手段と、信号劣化を遮断する手段とを組合せた複数手段を各波長の光信号がそれぞれ位相変調された波長多長光信号を各波長の光信号に分波して各波長の光信号を位相変調してそれを電気信号に変換する光分波器と、各波長の光信号を位相変調してそれを電気信号に変換する複数の光伝送手段と、各電気信号を位相変調してそれを位相変換するディジタル信号を出力する複数手段とを備え、請求項2に記載の光伝送装置から受信して分波する。

[004-3] また、光電信号を、入力された光信号を、
PMM+GVD効果による形状劣化によるクロック周波数およびその遅延の周波数
変化の周周期であるクロック周波数およびその遅延の周波数変化以上の成
分を減衰させることにより、X PM+GVD効果による
形状劣化を抑制することができる。

[004-4] また、光電信号を、
前後のピット間で干涉させ、光電信号の位相調節成分を強
度調節成分に変換する光分解器と、光分解器の出力光電
信号を電気信号に変換する光電変換器により構成しても
よい。(請求項6)。

[004-5] 請求項7に記載の光伝送システムは、請求
項1に記載の光伝送装置と、この光伝送装置から光送信と
された光電信号または複数光電信号を伝送する光ファイバ
伝送装置と、光ファイバ伝送路を伝送された光信号を受信
する光伝送装置とを備えた構成であ
る。

[004-6] 請求項8に記載の光伝送システムは、請求
項2に記載の光伝送装置と、この光伝送装置から光送信と
された光電信号または複数光電信号を伝送する光ファイバ
伝送装置と、光ファイバ伝送路を伝送された光信号を受信
する光伝送装置とを備えた構成であ
る。

[0049] このように本発明の特徴は、送信部 10 を駆動する送信部用変調周波数信号として送出される。[0050] 本実施形態は、1波長の光信号を伝送するものであるが、このときには影響を与える非線形光学効果としてSPM+GVD効果である。上述したように、NR2は送信部用信号を用いるIM-DD方式、DPSK-DD方式で、SPM+GVD効果により生じる符号間干渉によつて符号を復調する。本実施形態では、デジタル送信部により並列変調されたビットの境界で、光強度が小さくなるように信号のビットに同期したタイミングで強度調節を行なう。このため、送信ビットの強度変化はすべてのビットの境界において、ビットの強度変化が小さくなる。ビットの境界の光強度を小さくすれば、SP、偏光強度を低減することができる。

[0051] なお、本実施形態では、送信部 10 から位相偏光変調周波数信号を送信し、受信部 20 で光分解器 25 および偏向器 26 を用いた復調処理を行う構成であつたが、従来のDPSK-DD方式と同様に受信段度を

合には、井筒形光学効果の影響はない、1波長伝送時の符号は単符号とほぼ一致するからである。図3 (a) はNR 2符号を用いたIM-DDD方式、図3 (b) はRZ符号を用いたIM-DD方式、図3 (c) はDPSK-DD方式であり、図3 (d) が本実験形態の符号はり算である。

【0055】光伝送路への光入力パワーを減少させるなど、符号はり算が悪化する。これは、上述したASE光によるS NRD効果の影響による。一方、光伝送路への光入力パワーを上昇させると、符号はり算がやはり悪化する。これは、井筒形光学効果による影響で波形が劣化したことによる。よる崩壊である。この上昇、下限間の光入力パワーの範囲が広がるほど、ASE光および井筒形光学効果の影響が小さく、光増幅中経路を大きくすることができる。基準となる符号はり算を10⁻⁹以下とすると、これを下す光入力パワーの範囲は、図3 (d) に示す本実験形態のもののが最大であり、ASE光および井筒形光学効果の影響を低減できることがわかる。

【0056】なる。本実験形態では、光値開器2 4の光弁別器2 5としてマザーシェンダ干渉計を用いた構成を示したが、S PM + GVD効果による符号干渉の低減用い、光値開器2 4と同時に光伝送路中に生じる符号干渉を低減できる。

100561) また、光復讐器 2.4 の復讐信号からクロップケル装置以上の成分を減算させる手段として、例えば図 1 に示すように、受信部 2.0 の光復讐器 2.4 と低帯再生器 2.3 の間にフィルタを配置してもよい。本実施形態の送信部 1.0 では、光送信波形のすべてのビットが一様な強度変化となるので、SPM+GVD効果による波形劣化はすべてのビットに同様に生じる。その結果、復讐器 2.3 の後の波形劣化は、クロック周波数と一致またはその倍数の周波数成分に生じる。したがって、光復讐器 2.4 の出力に針對してクロック周波数以上の成分を削除させるフィルタを用いることにより、復讐後の波形劣化を改善することができる。

100561) [第 2 の実施形態] 図 4 は、本実明の光伝送装置および光伝送システムの第 2 の実施形態を示す。図 4 は、DPSK-DDF 方式による変調装置部の基本的な部分は、図 1 に示す從来の構成と同様である。ここでは、n 波長多重伝送する構成を示す。

100561) 図において、送信部 1.0 では、複数のディジタル送信信号をそれぞれ符号化器 1.4-1～1.4-n に入力して符号化する。複数の光波 1.1～1.1-n の強度変化を光位相変調器 1.5-1～1.5-n に入力し、符号化器 1.4-1～1.4-n の出力信号によりそれぞれ位相調制した光信号を生成する。各波長の位相調制信号は、それぞれクロック信号で駆動される光強度調制器 1.6-1～1.6-n に入力され、ビットの境界で光強度が小さくなるようにビットごとに位相を変化させる。

[0062] 一方で、本実施形態において、X PM+GV D効果によって生じる信号劣化を低減する原理について説明する。図5は、第2の実施形態で相互位相調製によつて生じる光周波変化を示す。図5(a)、(b)は、波長λ1.1、λ1.2の位相差印。强度調制信号の波形を示す。図5(a)、(b)間の矢印は、波長1.2用調製により隣接波長間の光強度変化による光周波変動を示す。例えれば下向きの矢印は、波長λ1.2の光信号が波長λ1.2の光信号間に光周波変動を生じさせることを意味する。図5(c)は、波長λ1の光信号の强度変化によつて波長λ2の光信号間に生じる光周波変動を示す。

[0063] 本実施形態では、図5(a)、(b)に示すように、デジタル送信信号は光の位相により伝送されるので、光強度は光信号によらず、ビットの境界で常に光強度が小さくなる。このため、送信信号のクロック周波数を変更した分により強度調製された波形となる。また、全てのビットが同一の強度変調をため、図中(左)の矢印のように、X PM+GV D効果も全てのビットに影響を及ぼす。この結果、図5(c)に示すように、位相チャネルからの相互位相調製により生じる光周波変動の周期はビットレートと一致することになる。

[0064] このように、本実施形態におけるX PM+GV D効果による波形変化は、隣接チャネルの強度変化

の周期であるクロック周波数およびその遅延の周波数に生じる。したがって、光復帰器 2.4 の復帰信号からクロック周波数以上の成分を削減させる手段として、例えば図 4 に示すように、受信部 2.0 の光復帰器 2.4 と並列再生器 2.3 の間にフィルタを配置することにより、XPM+GVDF効果による波形劣化を低減することが可能となる。

[0065] ここで、第 2 の実施形態における XPM+GVDF効果による波形劣化の受信後の周波数分布について説明する。図 6 は、第 2 の実施形態における XPM+GVDF効果の周波数分布を示す。ここでは、中心波長を連続光とし、他を本実明により位相変調・強度変調したビットレート 10Gb/s の 3 波長の伝送多電光信号について、伝送時の中心波長の光信号を直接後波した場合の電気スペクトルを示す。

[0066] この電気スペクトルは直射光を受光した際のものであるので、本来は周波数 0Hz 成分のみ存在する。他の周波数成分は、時報接長の XPM+GVDF効果によるよう信号に示す。IM-DD方式では、図 16 が示すように信号にドローン化することでスペクトルが生じていたが、本実施形態の XPM+GVDF効果による波形劣化は、階級チャネルの強度変化の周期であるクロック周波数およびその遅延の周波数に生じている。

したがって、その波形変化成分は、クロック周波数以上に成長させるフィルタにより容易に取り除くことができる。

[0067] 図7は、第2の実施形態の構成による3波長多重伝送実験により得られたアイバーンを示す。信号のビットレートは10Gbit/sとした。また、実験に用いた光伝送路は波長分波器 2.5ps/nm/km であり、120kmごとに光増幅器と、360km伝送した。なお、群速分散分波器の影響を除くため、伝送路に分散补偿ファイバにより光伝送速度は、3波長多重伝送後のアイバーンが従来構成される場合よりも大きくなり、本実施形態の構成では3波長多重伝送後のアイバーンに顕著な劣化が見られず、SPM+GVD効果およびXPM+GVD効果による波形劣化が抑圧していることがわかる。

[0068] 図8は、第2の実施形態における伝送後の符号誤り率特性を示す。なお、実験条件は図2の実験と同じである。本実験では、光伝送路の損失を30dBに固定し、光伝送路への光入力パワーを変化させた場合の符号誤り率を示す。図8(a)はNRZ符号を用いたIM-DOM方式で、図8(b)はRZ符号を用いたIM-DOM方式で、図8(c)は DPSK-DOM方式であり、図8(d)が本実施形態の符号誤り率である。なお、参考のために、1波長伝送時の符号誤り率についても表示している(▲印)。

[0069] 1波長伝送時と3波長伝送時の符号誤り率を比較すると、光伝送路への光入力パワーが大きい場合

一様になり、ビットの境界で光強度が小さくなる。これにより、SPM+GVD効果により生じる符号間干渉歩を抑止でき、信号劣化を低減することができる。

[0072] また、本発明の光伝送装置から送信された光信号は、送信信号のクロック周波数と一致した成分により強度変調された波形となる。したがって、XPM+GVD効果による波形変化は階調チャネルの強度変化の周波数によりその選択の周波数による成分を減じるので、複調信号からクロック周波数以上の成分を減らすことができる。

[0073] なお、復調信号からクロック周波数以上の成分を減らす構成は、1波長伝送時にも効果がある。すなわち、光信号波形のすべてのビットが一様な強度変化となるので、SPM+GVD効果による波形変化もすべてのビットに同時に生じる。そのため、伝送後の波形変化は、クロック周波数と一致またはその選択の周波数成分に生じる。したがって、復調信号からクロック周波数以上の成分を減らすことにより、復調後の波形変化を低減することができる。

[図面の範囲的な説明]
[図1] 本発明の光伝送装置および光伝送システムの第1の実施形態を示すブロック図。
[図2] 第1の実施形態における1波長伝送時の信号波形を示す図。
[図3] 第1の実施形態における伝送後の符号誤り率特性を示す図。

[図4] 本発明の光伝送装置および光伝送システムの第2の実施形態を示す図。

[図5] 第2の実施形態で全波多重伝送を行った場合の相位変調によって生じる光周波数変化を示す図。

[図6] 第2の実施形態におけるX PM+GVD効果の周波数分布を示す図。

[図7] 第2の実施形態による3波長多重伝送実験により得られたアイバターンを示す図。

[図8] 第2の実施形態におけるX PM+GVD効果の周波数分布を示す図。

[図9] IM-DD方式を用いた伝来の波長多重伝送実験により得られたアイバターンを示す図。

[図10] DPSK-DD方式を用いた伝来の波長多重伝送実験の構成例を示すブロック図。

[図11] IM-DD方式で生じる自己相空間による光周波数変化を示す図。

[図12] NRZ符号を用いたIM-DD方式の1波長伝送時の信号波形を示す図。

[図13] 位相変調信号の光強度とその光周波数変化の関係を示す図。

[図14] DPSK-DD方式の1波長伝送時の信号波形を示す図。

[図15] NRZ符号を用いたIM-DD方式で波長多

重伝送を行った場合の相互位相変調によって生じる光周波数変化を示す図。

[図16] NRZ符号を用いたIM-DD方式で生じるX PM+GVD効果の周波数分布を示す図。

[図17] 100 GHz間隔の3波長多重伝送実験により得られたアイバターンを示す図。

[図18] 第2の実施形態におけるX PM+GVD効果の周波数分布を示す図。

[図19] IM-DD方式を用いた伝来の波長多重伝送実験の構成例を示すブロック図。

[図20] DPSK-DD方式を用いた伝来の波長多重伝送実験の構成例を示すブロック図。

[図21] NRZ符号を用いたIM-DD方式の1波長伝送時の信号波形を示す図。

[図22] 位相変調信号の光強度とその光周波数変化の関係を示す図。

[図23] DPSK-DD方式の1波長伝送時の信号波形を示す図。

[図24] NRZ符号を用いたIM-DD方式で波長多

[図4]

本発明の光伝送装置および光伝送システムの第1の実施形態

[図5]

第1の実施形態における伝送波の平均強度特性

[図6]

NRZ符号を用いたIM-DD方式

[図7]

RZ符号を用いたIM-DD方式

[図8]

DPSK-DD方式

[図9]

IM-DD方式

[図10]

IM-DD方式

[図11]

IM-DD方式

[図12]

IM-DD方式

[図13]

IM-DD方式

[図14]

IM-DD方式

[図15]

IM-DD方式

[図16]

IM-DD方式

[図17]

IM-DD方式

[図18]

IM-DD方式

[図19]

IM-DD方式

[図20]

IM-DD方式

[図21]

IM-DD方式

[図22]

IM-DD方式

[図23]

IM-DD方式

[図24]

IM-DD方式

[図25]

IM-DD方式

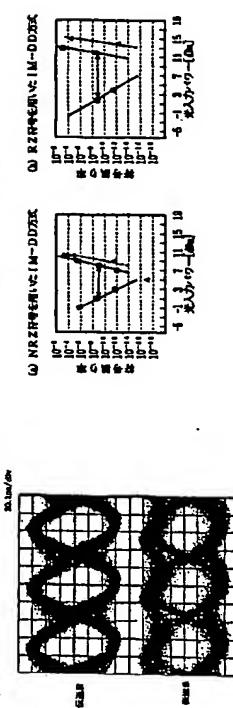
[図26]

IM-DD方式

[図27]

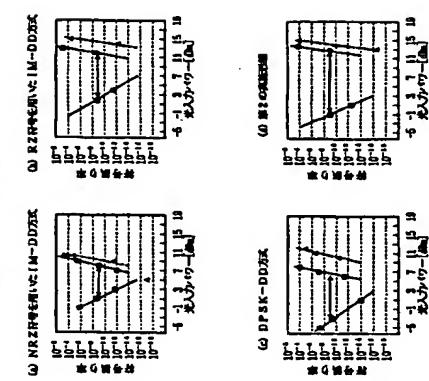
[図 7]

第2の複数信号の波形により複数信号を複数個に分離する方法



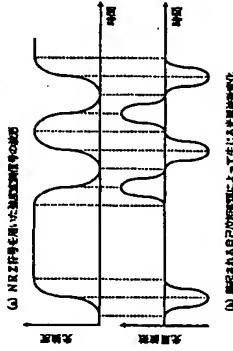
[図 8]

第1の複数信号における波形の分離手順

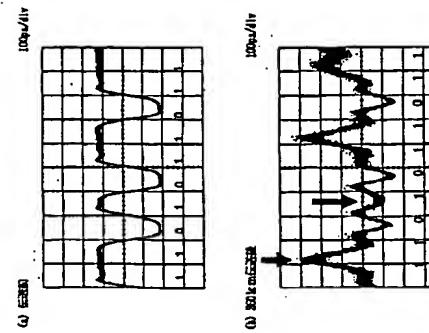


[図 11]

IM-DD方式で生じる自己位相調制による位相変動化

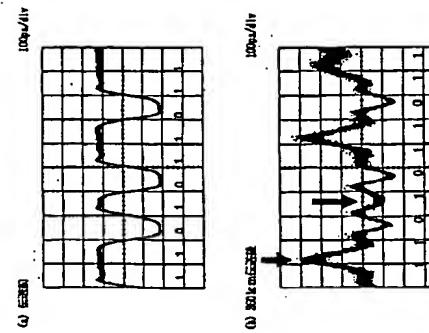


NRZ信号を用いたIM-DD方式の1波長波長中の位相変動



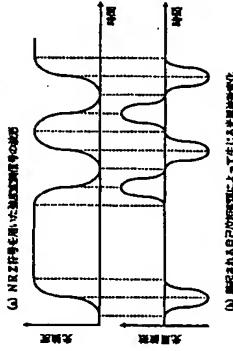
[図 12]

NRZ信号を用いたIM-DD方式の1波長波長中の位相変動



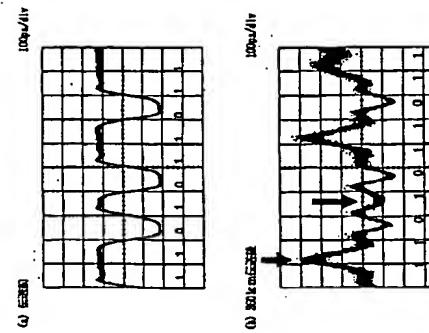
[図 13]

位相変動を用いたIM-DD方式による位相変動化



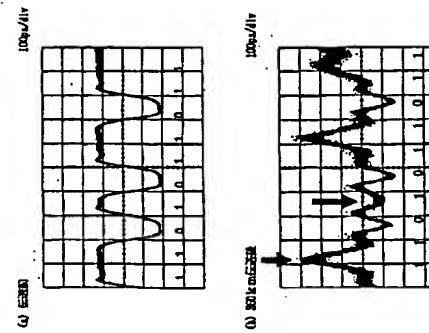
[図 14]

DPSK-DSBSS方式の1波長波長中の位相変動



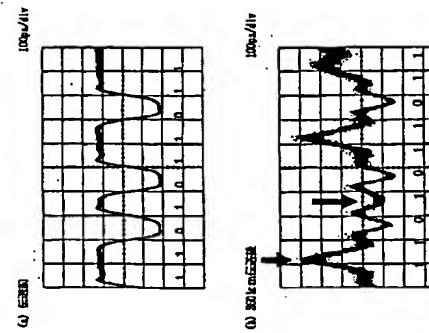
[図 15]

DPSK-DSBSS方式の1波長波長中の位相変動



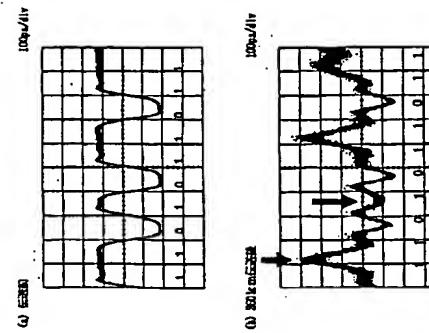
[図 16]

DPSK-DSBSS方式による位相変動化



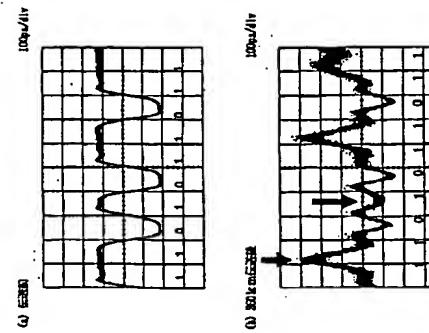
[図 17]

IM-DD方式により得られた複数信号を用いたアイダーナ



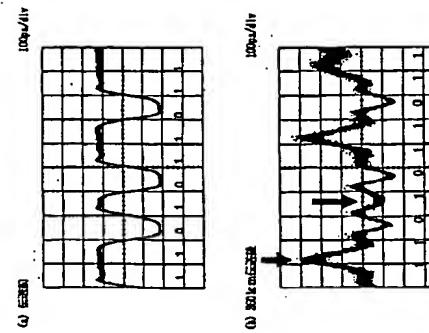
[図 18]

IM-DD方式における位相変動化



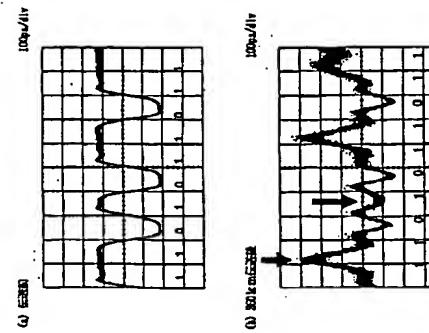
[図 19]

IM-DD方式による位相変動化



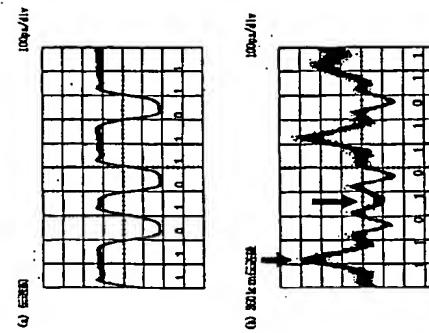
[図 20]

IM-DD方式による位相変動化



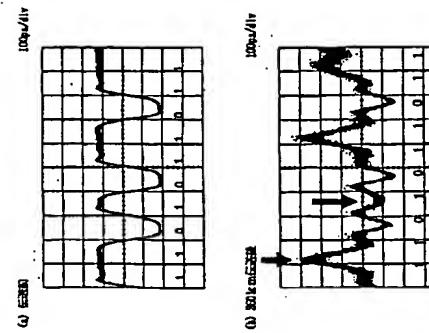
[図 21]

IM-DD方式による位相変動化



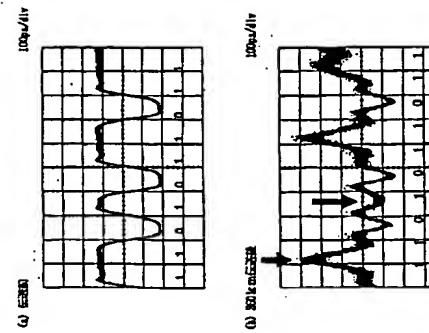
[図 22]

IM-DD方式による位相変動化



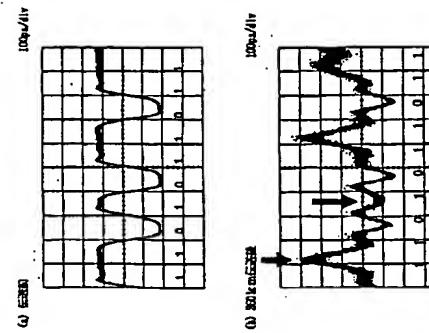
[図 23]

IM-DD方式による位相変動化



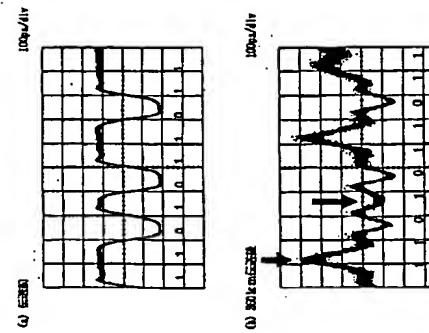
[図 24]

IM-DD方式による位相変動化



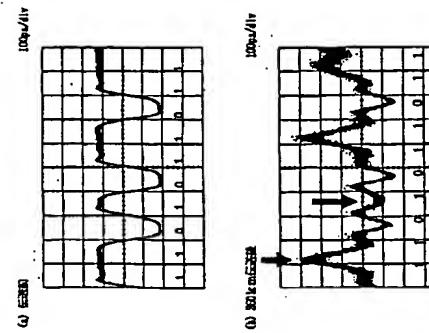
[図 25]

IM-DD方式による位相変動化



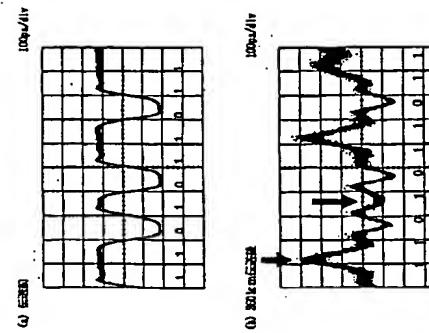
[図 26]

IM-DD方式による位相変動化



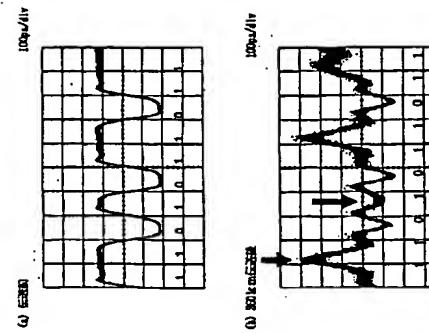
[図 27]

IM-DD方式による位相変動化



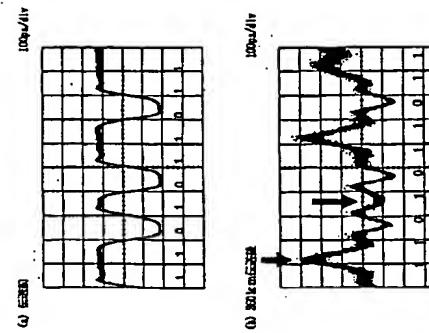
[図 28]

IM-DD方式による位相変動化



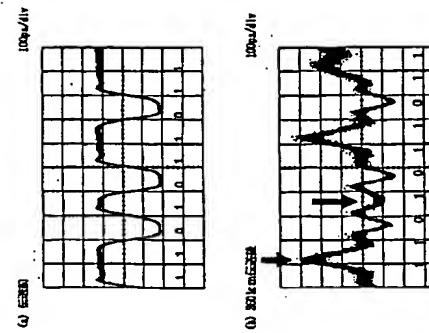
[図 29]

IM-DD方式による位相変動化



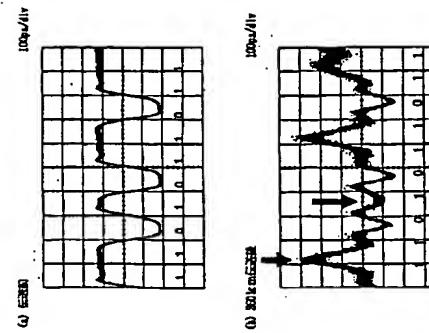
[図 30]

IM-DD方式による位相変動化



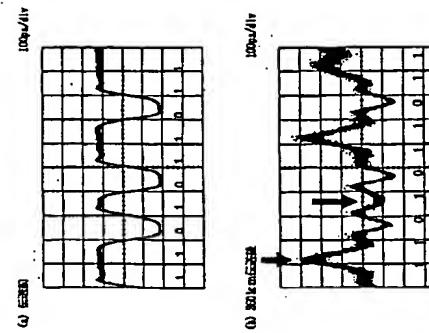
[図 31]

IM-DD方式による位相変動化



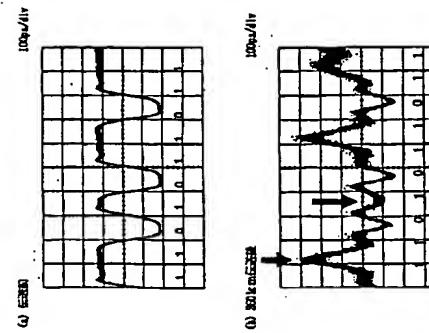
[図 32]

IM-DD方式による位相変動化



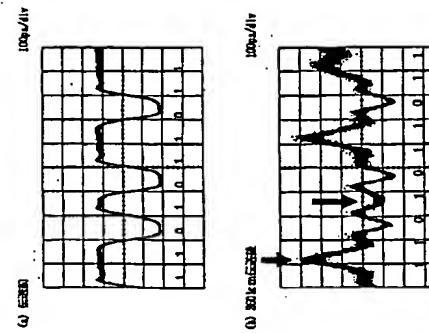
[図 33]

IM-DD方式による位相変動化



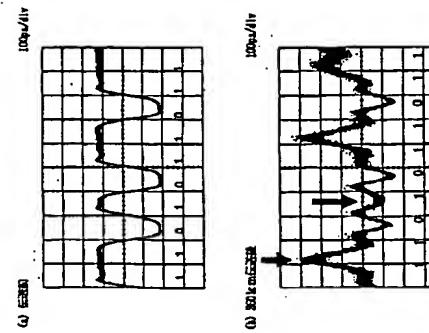
[図 34]

IM-DD方式による位相変動化



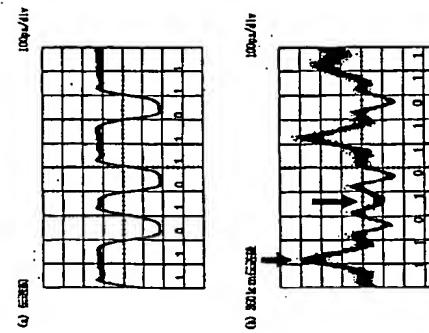
[図 35]

IM-DD方式による位相変動化



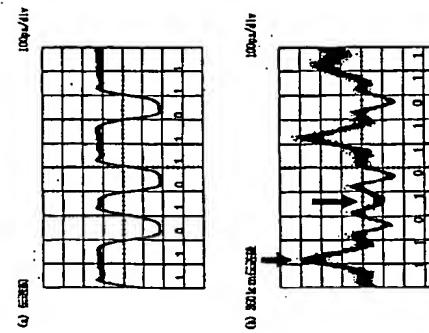
[図 36]

IM-DD方式による位相変動化



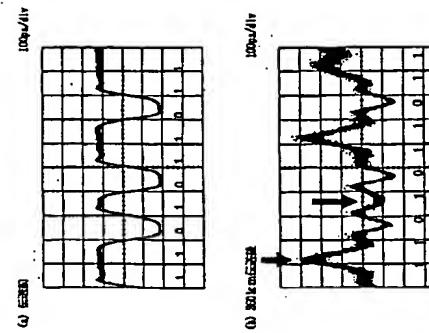
[図 37]

IM-DD方式による位相変動化



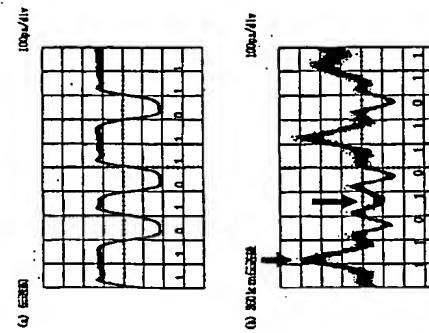
[図 38]

IM-DD方式による位相変動化



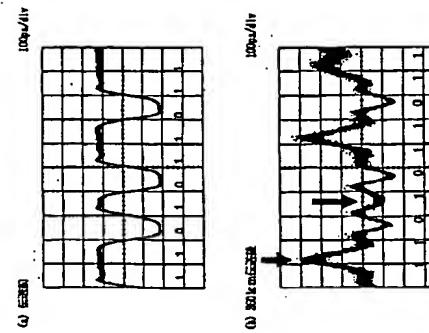
[図 39]

IM-DD方式による位相変動化



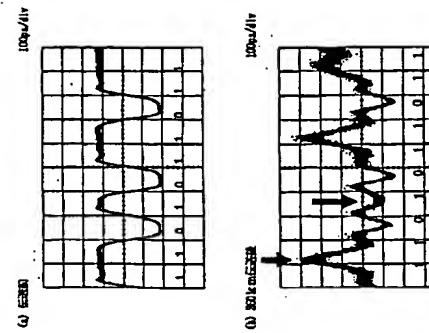
[図 40]

IM-DD方式による位相変動化



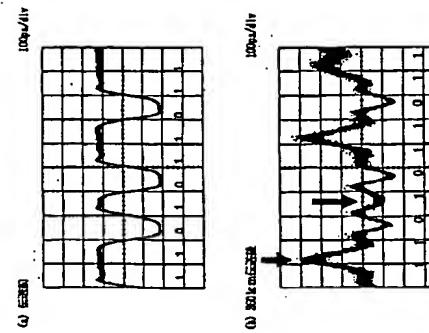
[図 41]

IM-DD方式による位相変動化



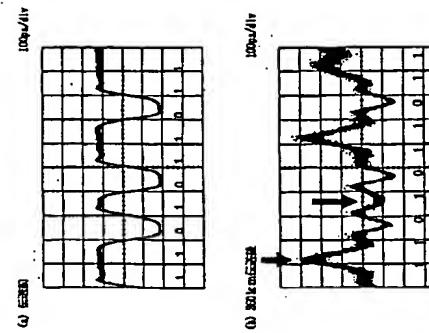
[図 42]

IM-DD方式による位相変動化



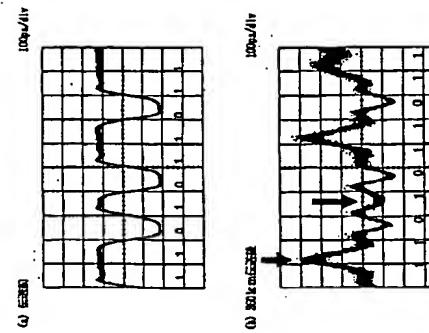
[図 43]

IM-DD方式による位相変動化



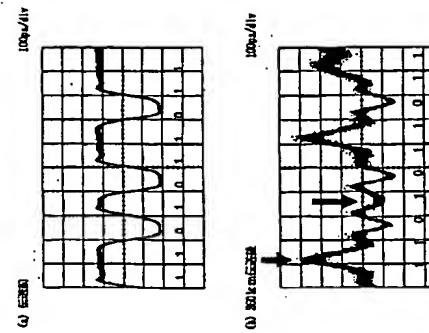
[図 44]

IM-DD方式による位相変動化



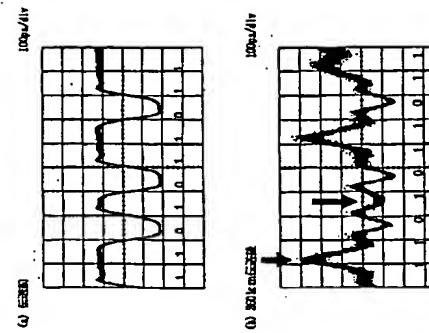
[図 45]

IM-DD方式による位相変動化



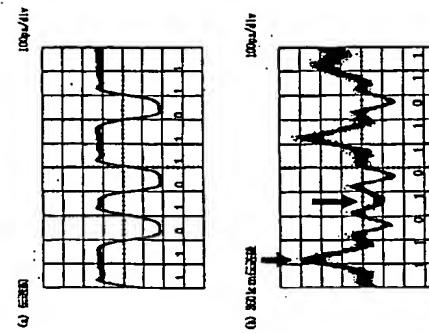
[図 46]

IM-DD方式による位相変動化



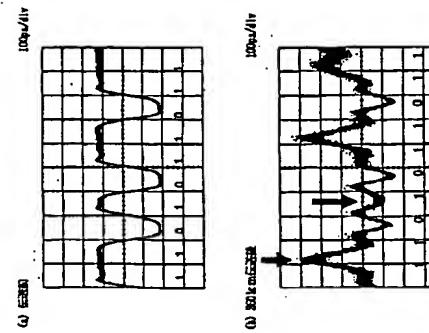
[図 47]

IM-DD方式による位相変動化



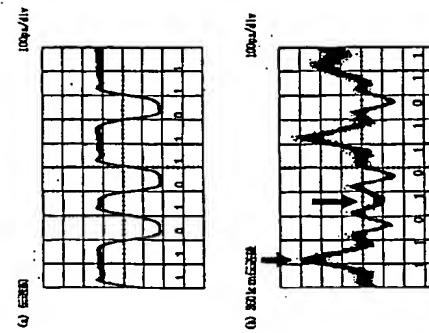
[図 48]

IM-DD方式による位相変動化



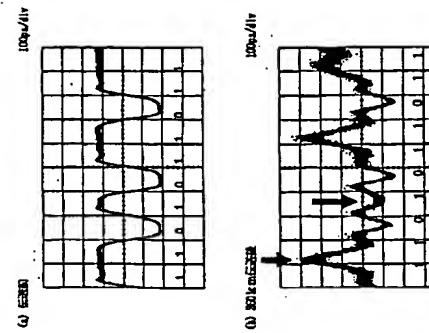
[図 49]

IM-DD方式による位相変動化



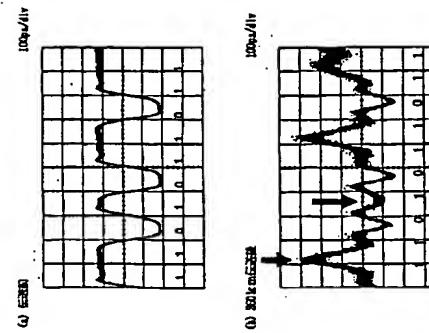
[図 50]

IM-DD方式による位相変動化



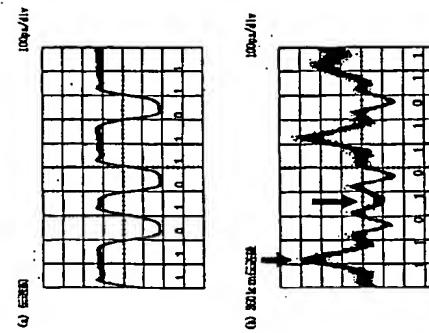
[図 51]

IM-DD方式による位相変動化



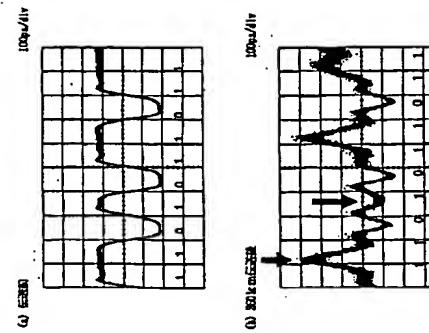
[図 52]

IM-DD方式による位相変動化



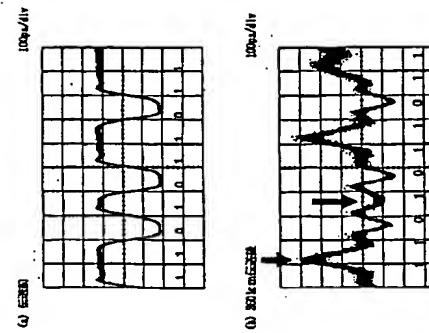
[図 53]

IM-DD方式による位相変動化



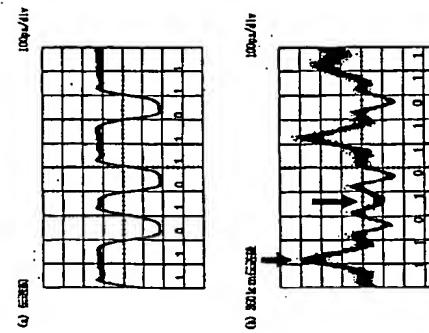
[図 54]

IM-DD方式による位相変動化



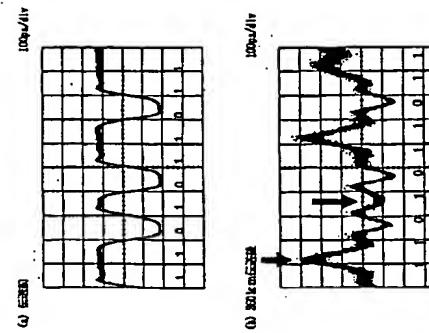
[図 55]

IM-DD方式による位相変動化



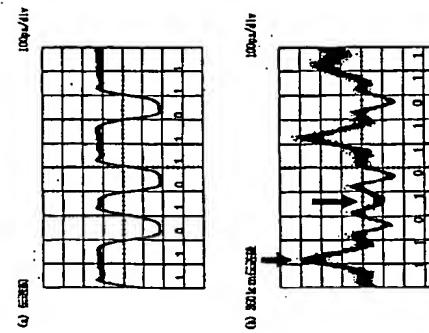
[図 56]

IM-DD方式による位相変動化



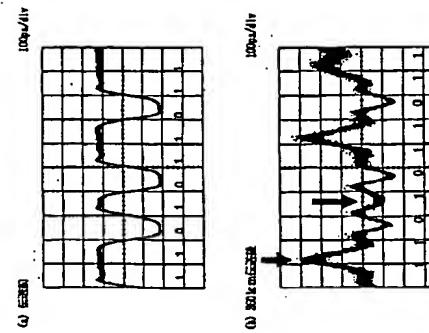
[図 57]

IM-DD方式による位相変動化



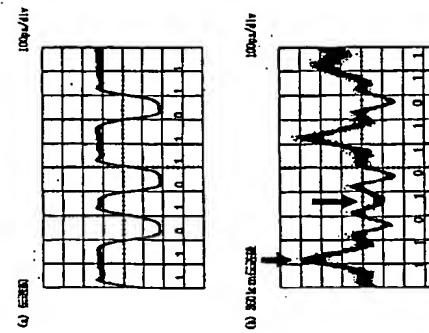
[図 58]

IM-DD方式による位相変動化



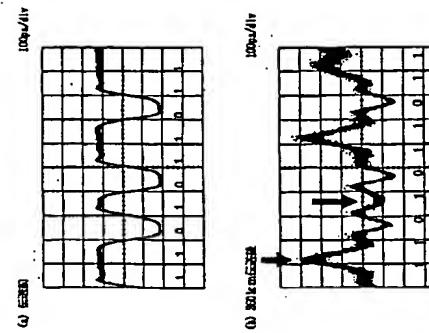
[図 59]

IM-DD方式による位相変動化



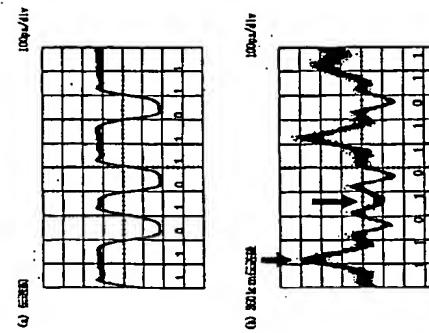
[図 60]

IM-DD方式による位相変動化



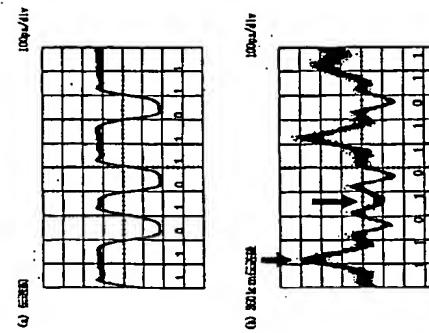
[図 61]

IM-DD方式による位相変動化



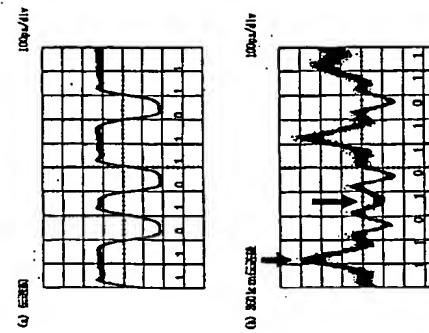
[図 62]

IM-DD方式による位相変動化



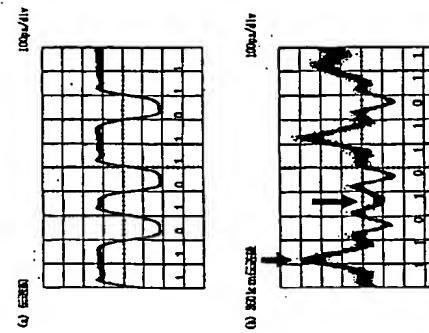
[図 63]

IM-DD方式による位相変動化



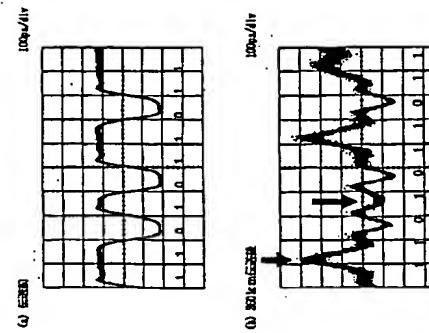
[図 64]

IM-DD方式による位相変動化



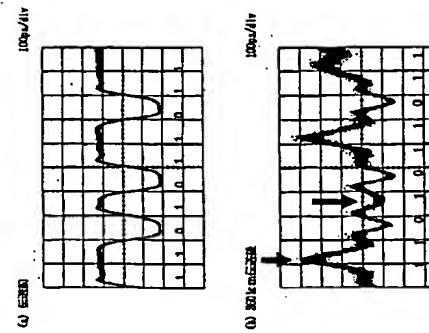
[図 65]

IM-DD方式による位相変動化



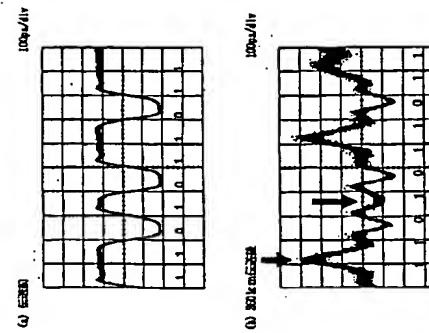
[図 66]

IM-DD方式による位相変動化



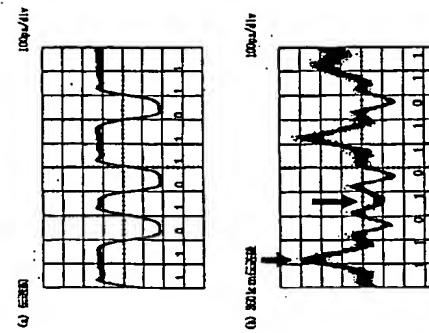
[図 67]

IM-DD方式による位相変動化



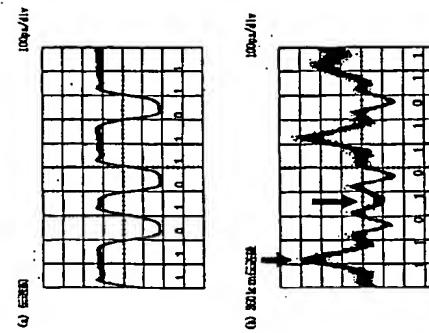
[図 68]

IM-DD方式による位相変動化



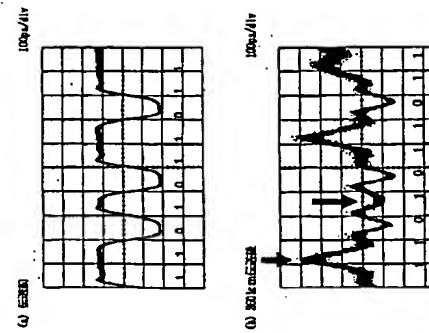
[図 69]

IM-DD方式による位相変動化



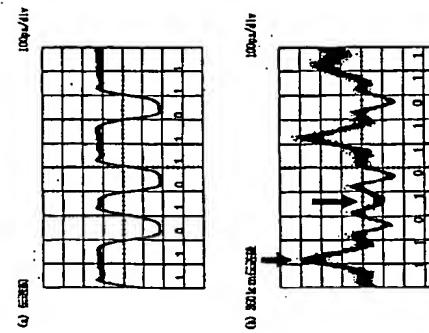
[図 70]

IM-DD方式による位相変動化



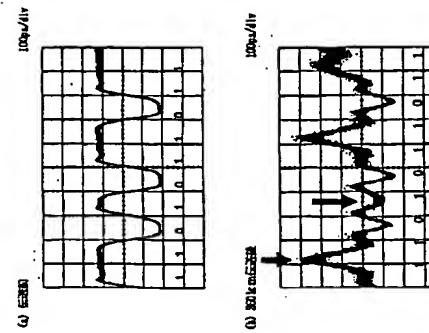
[図 71]

IM-DD方式による位相変動化



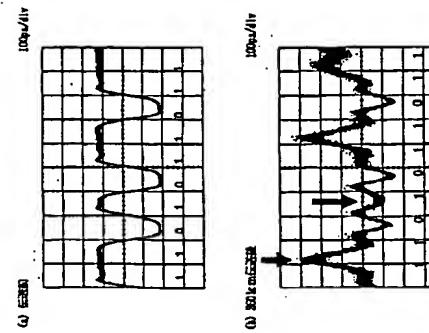
[図 72]

IM-DD方式による位相変動化



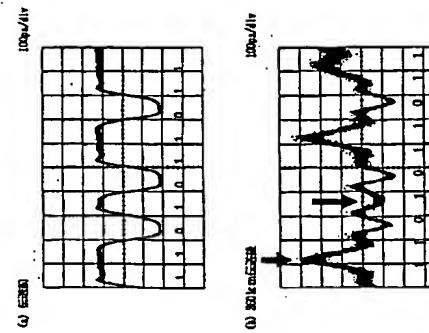
[図 73]

IM-DD方式による位相変動化



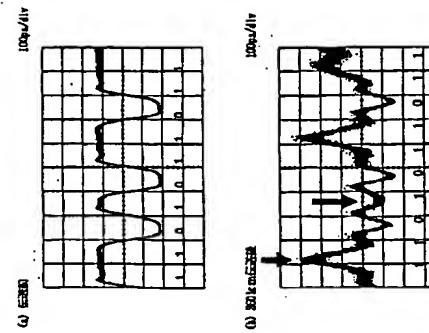
[図 74]

IM-DD方式による位相変動化



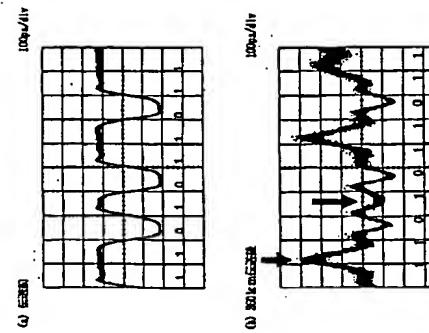
[図 75]

IM-DD方式による位相変動化



[図 76]

IM-DD方式による位相変動化



[図 77]

IM-DD方式による位相変動化

